

PAT-NO: JP406253318A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06253318 A  
TITLE: COLOR IMAGE PICKUP DEVICE  
PUBN-DATE: September 9, 1994

INVENTOR-INFORMATION:  
NAME  
SHIRAISHI, AKIHIKO

INT-CL (IPC): H04N009/07

ABSTRACT:

PURPOSE: To rationalize various processes, to improve the resolution and reduce the color moire, and to photograph even a still frame picture by reading necessary information out of a memory and obtaining an image through digital signal processing.

CONSTITUTION: Signals corresponding to color signals Mg, Gv, Cy, and Ye are read out of the buffer memory 4 and made into synchronized color signals Mg, Gv, Cy; and Ye by four interpolating filters 6-9. Then those four kind of color signals are inputted to an RGB conversion part 10 and converted into primary color signals of R, G, and B. In this case, the four kind of color filters 6-8 arranged in an image pickup element are arranged in an array of offset sampling structure which is offset by 2Ph vertically, 2Pv horizontally, and Ph vertically, thereby reducing color carriers which are generated horizontally and vertically.

COPYRIGHT: (C)1994, JPO&Japio

----- KWIC -----

PTO 06-6433

Japanese Kokai Patent Application  
No. Hei 06-[1994]253318

COLOR IMAGE PICKUP DEVICE

Teruhiko Shiraishi

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE  
WASHINGTON, D.C. AUGUST 2006  
TRANSLATED BY THE MCELROY TRANSLATION COMPANY

JAPANESE PATENT OFFICE  
PATENT JOURNAL (A)  
KOKAI PATENT APPLICATION NO. Hei 06[1994]-253318

Int. Cl. <sup>5</sup> :	H 04 N 9/07
Filing No.:	Hei 05[1993]-63386
Filing Date:	February 26, 1993
Publication Date:	September 9, 1994
No. of Claims:	3 (Total of 14 pages; FD)
Examination Request:	Not filed

COLOR IMAGE PICKUP DEVICE

[Karasatsuzo sochi]

Inventor:	Teruhiko Shiraishi
Applicant:	Canon Inc.

[There are no amendments to this patent.]

Claims

/2\*

1. A color image pickup device that is characterized by being equipped with an image pickup element with an offset sampling structure, possessing 4 types of color filters, with the color filters repeating in a 2 pixel period different from one another in the vertical direction, and with different color filters repeated offset by a 2 pixel period in the horizontal direction and by one pixel in the vertical direction, and  
a memory in which the output from the aforementioned image pickup element is temporarily stored,  
which are constituted so that an image is obtained by reading the required information from the aforementioned memory and performing digital signal processing.

---

\* [Numbers in the margin indication pagination of the original foreign language text.]

2. A color image pickup device that is characterized by being equipped with an image pickup element with an offset sampling structure, possessing 4 types of color filters, with the color filters repeating in a 2 pixel period different from one another in the vertical direction, and with different color filters repeated offset by a 2 pixel period in the horizontal direction and by one pixel in the vertical direction,

an optical low-pass filter, constructed possessing an optical member that splits incident light rays into two light rays separated by a distance  $D$  in directions that form an angle  $\theta$  in the clockwise direction and counter-clockwise direction relative to the scanning direction of the aforementioned image pickup element, so that the distance  $D$  fulfills the condition

$$1. \ 6PhPv / |2Ph \sin \theta + Pv \cos \theta| \leq D \leq 2. \ 4PhPv / |2Ph \sin \theta + Pv \cos \theta| \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2)$$

where  $Ph$  is the pitch in the horizontal direction of the aforementioned image pickup element and  $Pv$  is the pitch in the vertical direction, and

a memory in which the output from the aforementioned image pickup element is temporarily stored,

which are constituted so that an image is obtained by reading the required information from the aforementioned memory and performing digital signal processing.

3. The color image pickup device disclosed in Claim 1 or 2, which is characterized by including a gain adjustment means that adjusts the gain of the output from the aforementioned image pickup element so that the output from the aforementioned 4 types of color filters is uniform with achromatic subject image, and a signal formation means that forms a RGB signal from the output of the aforementioned 4 types of color filters by computing a 3 line  $\times$  4 column matrix in which the sum of the coefficients of any two columns is equal to the sum of the coefficients of the remaining two.

Detailed explanation of the invention

[0001]

Industrial application field

The present invention pertains to a color image pickup device equipped with a solid state image pickup element comprised of a multiplicity of light receiving elements arrayed in two-dimensions, and in particular pertains to a color image pickup device that performs digital signal processing using a memory.

[0002]

Prior art

With the rapid advancement of semiconductor technology in recent years, it has become a certainty that signal processing will be performed digitally in the field of video signal processing. This is due to the advantages of digital signal processing in terms of increased IC integration and precision, the ease with which a variety of adjustments can be made, and the excellent S/N ratio, etc. compared with analog signal processing.

[0003]

Consequently, based on the strengths of image pickup elements, such as small size, light weight, and high reliability, etc., a variety of systems have been developed for digital applications. CCD image pickup elements, with a color filter array like that shown in Figure 9, have become the most commonly used of these today as image pickup elements in video cameras and electronic still cameras from the aspects high resolution, good S/N ratio, and signal processing ease, etc.

[0004]

As is apparent from Figure 9, this image pickup element possesses color filters in which the colors repeat in a 2 pixel period different from one another in the horizontal direction. Thus, said filter array comprises lines in which magenta Mg and green Gr are repeated, and lines in which cyan Cy and yellow Ye are repeated. Additionally, Mg and Gr constitute an offset sampling array and Cy and Ye constitute a square sampling array. Further, there are also arrays in which this is reversed, with Mg and Gr in a square sampling array and Cy and Ye in an offset sampling array.

[0005]

Figure 10 is a chart that shows the color carrier characteristics in a spatial frequency plane ( $f_H$ ,  $f_V$ ) of an image pickup element color filters arrayed as described above. In Figure 10, the arrows represent the carriers for the various colors Mg, Gr, Cy, and Ye, and the direction of each arrow represents the phase relationship between the various colors. In this figure,  $f_H$  shows the frequency in the horizontal direction and  $f_V$  shows the frequency in the vertical direction.

[0006]

A method called pixel mixture (or field readout) is commonly used as the method of reading the signals from these image pickup elements. This is a method in which the photoelectrically converted signal charges are read mixing two lines at a time. With this method, the signal charges are read for field A as  $A_{n-1}$ ,  $A_n$ ,  $A_{n+1}$ , ..., e.g., as shown in Figure 9. Field B is also read as  $B_{n-1}$ ,  $B_n$ ,  $B_{n+1}$ , ...

[0007]

As a result, pixel signals (Mg+Cy) and (Ye+Gr), and (Cy+Gr) and (Mg+Ye) are alternately output from this image pickup element. Now, if the signals obtained from the image pickup element during use are referred to as

$$C_1 = \text{Mg} + \text{Cy}$$

$$C_2 = \text{Ye} + \text{Gr}$$

$$C_3 = \text{Cy} + \text{Gr}$$

$$C_4 = \text{Mg} + \text{Ye}$$

the set at the position of the spatial center of gravity when these four signals are obtained can be thought of as having a square sampling structure comprising  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , as shown in Figure 11. A color image is then obtained by forming a brightness signal and color signal for each field based on this pixel signal.

[0008]

Problems to be solved by the invention

However, when pixel mixture is performed using an image pickup element with a color filter array like that shown in Figure 9, the following kinds of problems arise. First, if this image pickup element is used to pick up static images in an electronic still camera, etc., only one of the fields can be imaged due to pixel mixing, so that so-called high-resolution frame images cannot be obtained.

[0009]

Second, when pixel mixture is performed, a brightness signal and color signal are formed from the image pickup element using a sampling structure like that shown in Figure 11, as described above, but to do this, two lines of data must be used, skipping one line between. Since data are thus combined for two spatially separated points, the correlation in the vertical direction is diminished, which deteriorates the resolution, especially in the vertical direction.

[0010]

Third, since the vertical correlation is diminished in the color signal, as described above, the color moiré effect becomes more apparent. This occurs for the reasons shown below. Figure 12 is a chart that shows the color carrier characteristics in a spatial frequency plane ( $f_H$ ,  $f_V$ ) of an image pickup element based on a structure like that shown in Figure 11. The arrows in Figure 12 represent the carriers for the various colors  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ , and the direction of each arrow represents the phase relationship between the various colors. In addition,  $P_H$  represents the pitch in

the horizontal direction of the image pickup element and  $P_v$  represents the pitch in the vertical direction.

[0011]

When this is compared with the color carrier characteristics in the spatial frequency plane ( $f_H, f_V$ ) shown in Figure 10, it can be seen that color carriers arise at a lower frequency ( $0, \frac{1}{4} P_v$ ) in the vertical direction in Figure 12. This corresponds with 240TV in a NTSC video camera. Due to the action of this color carrier, color moiré effect occurs at a lower frequency in the vertical direction. It can also be seen from Figure 10 that carriers also occur at the frequency ( $0, \frac{1}{2} P_v$ ). Thus, due to the action of this color carrier, a color moiré effect will also occur even when photographing subjects with fine achromatic patterns.

[0012]

Fourth, because of the characteristics of the optical low-pass filter used to prevent the occurrence of color moiré effect, adequate resolution could not be obtained. Namely, it can be seen in both Figures 10 and 12 that a color carrier occurs at the position of the frequency ( $\frac{1}{2} P_h, 0$ ) in the horizontal direction. This color carrier is supposed to be suppressed by the optical low-pass filter positioned in front of the image pickup element, but meanwhile, using said optical low-pass filter invites deterioration of the resolution in the horizontal direction. Therefore, optical low-pass filters had to be designed and picture quality determined in conventional video cameras with a trade-off between resolution and the color moiré caused by the color carriers.

[0013]

This problem will be explained in detail using Figures 13-15. According to the sampling theorem, the brightness signal should be able to have a normal bandwidth at down to  $f_H = \frac{1}{2} P_h$ . Consequently, an optical low-pass filter ideally will cut all frequency components greater than the Nyquist frequency  $f_H = \frac{1}{2} P_h$  to 0 [zero] in order to prevent aliasing distortion in the brightness signal.

[0014]

However, since color carriers occur at the position of  $f_H = \frac{1}{2} P_h$ , as described above, if an optical low-pass filter with the above-described frequency characteristics is used, a color moiré effect will occur as the result of aliasing distortion in the color difference signal. Therefore, the frequency characteristics of the optical low-pass filter must be set so that the pass-band is lower than the frequency  $f_H = \frac{1}{2} P_h$  at which a color carrier arises, as shown in Figure 13.

[0015]

The general configuration of a conventional optical low-pass filter that presumes the above is shown in Figure 14. In Figure 14, an optical low-pass filter 110 comprises a birefringence plate 111 that splits incidental light rays in two at a distance of Ph in the horizontal direction, a phase plate 112 that circularly polarizes linearly polarized light, and a birefringence plate 113 that splits incident light rays in two at a distance of Ph/d in the horizontal direction.

[0016]

The transmission characteristic (MTF characteristic) of this optical low-pass filter is expressed by the following equation:

$$H_1(f_H, f_V) = |\cos(\pi/2 \cdot Ph f_H) \cdot \cos(\pi Ph f_H)| \quad \dots (1)$$

[0017]

Figure 15(a) expresses this in the form of a graph, and Figure 15(b) expresses it as a characteristic on a spatial frequency plane ( $f_H, f_V$ ), wherein dotted lines 114a, 114b, 115a, 115b are resonance frequencies that are trapped by the optical low-pass filter 110. Thus, it can be seen that the optical low-pass filter will trap the brightness signal carrier frequency  $f_H = 1/Ph$  and the color difference signal carrier frequency  $f_H = 1/2Ph$ .

[0018]

In addition, in an optical low-pass filter 110 with characteristics like those described above, as can be seen from Equation (1) and Figure 15(a), the MTF is already dropped to -15dB at a frequency approximately 85% of the color difference signal carrier frequency  $f_H = 1/2 Ph$ , making the MTF 0 [zero] at  $f_H = 1/2 Ph$ . Consequently, in past camera image pickup devices that use this kind of optical low-pass filter 110, no better than low resolution could be obtained at below the resolution limit of  $f_H = 1/2 Ph$ .

/4

[0019]

In addition, since frequency components over  $f_H = 1/2 Ph$  cannot be adequately suppressed, as is clear from Figure 15(a), there were also problems with color moiré effect occurring due to the resulting aliasing distortion in the color carrier.

[0020]

This invention addresses these kinds of problems and its purpose is to provide a color image pickup device that provides for the rationalization of a variety of processing through digital



signal processing, and which makes photography possible with good resolution and minimal color moiré effect, even in still frame pictures.

[0021]

Means to solve the problems

The color image pickup device of this invention is characterized by being equipped with an image pickup element with an offset sampling structure, possessing 4 types of color filters, with the color filters repeating in a 2 pixel period different from one another in the vertical direction, and with different color filters repeated offset by a 2 pixel period in the horizontal direction and by one pixel in the vertical direction, and a memory in which the output from the aforementioned image pickup element is temporarily stored, which are constituted so that an image is obtained by reading the required information from the aforementioned memory and performing digital signal processing.

[0022]

This invention is also characterized by being equipped with the aforementioned image pickup element and with an optical low-pass filter, constructed possessing an optical member that splits incident light rays into two light rays separated by a distance D in directions that form an angle  $\theta$  in the clockwise direction and counter-clockwise direction relative to the scanning direction of the aforementioned image pickup element, so that the distance D fulfills the condition,

$$1.6PhPv / |2Ph\sin\theta + Pvcos\theta| \leq D \leq 2.4PhPv / |2Ph\sin\theta + Pvcos\theta| \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2)$$

where Ph is the pitch in the horizontal direction of the aforementioned image pickup element and Pv is the pitch in the vertical direction, and a memory in which the output from the aforementioned image pickup element is temporarily stored, which are constituted so that an image is obtained by reading the required information from the aforementioned memory and performing digital signal processing.

[0023]

This invention is further characterized by possessing a gain adjustment means that adjusts the gain of the output from the aforementioned image pickup element so that the output from the aforementioned 4 types of color filters is uniform with achromatic subject image, and a signal formation means that forms a RGB signal from the output of the aforementioned 4 types of color filters by computing a 3 line  $\times$  4 column matrix in which the sum of the coefficients of any two columns is equal to the sum of the coefficients of the remaining two.

[0024]

#### Function

According to this invention, constituted as described above, by arranging 4 types of color filters disposed in an image pickup element in an offset sampling structure, offset  $2P_h$  in the vertical direction, and  $2P_v$  in the horizontal direction and  $P_h$  in the vertical direction, color carriers are minimized in the horizontal direction and in the vertical direction.

[0025]

Furthermore, by constituting an optical low-pass filter using an optical member that splits incident light rays into two rays in the clockwise direction or counter-clockwise direction relative to the scanning direction of the image pickup element, separated by a distance  $D$ , which fulfils a constant condition, a sufficient MTF characteristic can be obtained in the range below the limit resolution, and frequency components above the frequency of the limit resolution can be adequately suppressed.

[0026]

Additionally, by adjusting the output from the 4 types of color filters to yield uniform gain, and by calculating a matrix when forming the RGB signal from said output using a 3-line  $\times$  4-row matrix in which the sum of the coefficients of any two rows in all the lines is equal to the sum of the coefficients of the remaining two, the occurrence of color carriers is further reduced in the vertical direction.

[0027]

#### Embodiments

Embodiments of this invention will be described below, based on the attached figures. Figure 1 is a block schematic that shows a first example embodiment of the color image pickup device of this invention. In Figure 1, 1 is an image pickup element that converts light from the optical low-pass filter (not shown) to electrical signals, on which 4 types of color filters are arrayed as described below.

[0028]

An image pickup signal is read out one pixel at a time from the image pickup element 1. The image pickup signal read from the image pickup element 1 undergoes processing, such as CDS (removal of reset noise or clock noise from the image pickup element 1 output signal) or AGC (input signal level correction), etc., in a pre-processing circuit 2, after which it is A/D converted by an A/D converter 3 at a timing synchronized with a readout clock. It is preferred that

the A/D converter 3 have a linear characteristic for subsequent color processing, and that it perform A/D conversion at 8-bit or greater precision in consideration of quantization error.

[0029]

The A/D converted signal is temporarily written to a buffer memory 4 for 2-dimensional signal processing that will be performed later. The signal required for processing is then read out from this buffer memory 4.

[0030]

The signal corresponding to the brightness signal is sequentially read out from the buffer memory 4 and input to a low-pass filter 5 in sequence corresponding to the pixel array of the image pickup element 1. The signal input to the low-pass filter 5, after being limited to the desired bandwidth, is pressed as desired by a  $\gamma$  converter 14 and an enhancer 15, to yield a brightness signal  $Y_H$  with a high-band component. The brightness signal  $Y_H$ , thus obtained with a high-band component, is integrated with a brightness low-band component  $Y_L$ , obtained by a method described below, by a brightness signal formation circuit 16 and then output as a brightness signal  $Y$ .

[0031]

Meanwhile, signals corresponding to the color signals Mg, Gr, Cy, Ye are read out from the buffer memory 4 in the same manner as above, and converted to concurrent color signals Mg, Gr, Cy, Ye by four interpolation filters 6, 7, 8, 9. These 4 color signals are then input to an RGB converter 10 and converted to three primary color signals R, G, B. Further, this conversion is performed by the matrix calculation shown below.

/5

[0032]

Equation 1

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} Mg \\ Gr \\ Cy \\ Ye \end{bmatrix} \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0033]

Wherein, Matrix A is a 3-line  $\times$  4-row matrix optimized so that the spectral characteristics  $Mg(\lambda)$ ,  $Gr(\lambda)$ ,  $Cy(\lambda)$ ,  $Ye(\lambda)$  of Mg, Gr, Cy, and Ye in the image pickup element 1 are closer to the ideal spectral characteristics  $R(\lambda)$ ,  $G(\lambda)$ ,  $B(\lambda)$ , of R, G, and B specified in the NTSC standard.

[0034]

Next, each of the three R, G, and B signals formed by the RGB converter 10 is white-balanced by a white balancer 11 by being converted to a form  $\alpha R, G, \beta B$ . The RGB signal is then  $\gamma$ -converted by table conversion in a  $\gamma$  converter 12, after which it is input to a color difference matrix 13. The color difference matrix 13 produces the low-band component  $Y_L$  described above and two color difference signals R-Y and B-Y by performing color difference conversion in accordance with the NTSC standard, as shown below.

[0035]

[Equation 2]

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.70 & -0.59 & -0.11 \\ -0.30 & -0.59 & 0.89 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} \quad \dots (3)$$

[0036]

The color difference signals R-Y, B-Y are given the specified band restrictions by respectively connected low-pass filters 18, 19, and then output. Additionally, after the brightness low-band component  $Y_L$  is given the specified band restrictions by low-pass filter 17, it is integrated with the brightness signal with the high-band component  $Y_H$  by the brightness signal formation circuit 16, and then output as the brightness signal Y.

[0037]

The integration by this brightness signal formation circuit 16 is performed according to a conversion equation shown below:

$$Y = Y_H - \delta(\text{LPF17}) * Y_H + \delta Y_L \quad (0 \leq \delta \leq 1) \quad \dots (4)$$

Wherein, (LPF17) represents a low-pass filter with the same bandwidth as the low-pass filter 17, and (LPF17) \*  $Y_H$  represents performing the same bandwidth restriction as the low-pass filter 17 on the brightness signal with the high-band component  $Y_H$ .

[0038]

This kind of conversion is performed because the low-band component  $Y_L$  of brightness is the correct brightness in the spectral characteristic, it will not necessarily have a good S/N ratio, while, conversely, the brightness signal that contains the high-band component  $Y_H$  will have a good S/N ratio, but its brightness is not necessarily correct in the spectral characteristic.

[0039]

$\delta$  may be set constant at 1, here, in cases where the S/N ratio of the brightness low-band component  $Y_L$  is good. In this case, processing in the brightness signal formation circuit 16 is equivalent to replacing the bandwidth portion that is the same as the brightness low-band component  $Y_L$  in the brightness signal that contains the high-band component  $Y_H$  with the actual brightness low-band component  $Y_L$ .

[0040]

In addition, if the spectral characteristic of the brightness signal that contains the high-band component  $Y_H$  is close enough to the actual brightness characteristic,  $\delta$  may be set constant at 0 [zero]. In this case, absolutely no processing is performed by the brightness signal formation circuit 16, and it is the same as if the brightness signal that contains the high-band component  $Y_H$  were simply output unaltered as the brightness signal  $Y$ . Further, the value for  $\delta$  may be changed according to the light level and color data of the subject, taking the S/N ratio and color reproducibility into consideration.

[0041]

Figure 2 is a drawing showing an example embodiment of the color filter array disposed in the image pickup element 1 described above. This color filter array comprises 4 colors: Mg, Gr, Cy, and Ye. The colors are disposed in an offset sampling structure, with the colors repeating differing from one another by  $2 P_h$  in the vertical direction, and the colors repeating differing from one another being offset by  $2 P_v$  in the horizontal direction and  $P_h$  in the vertical direction.

[0042]

Further, this color filter array does not necessarily have to be as shown in Figure 2, e.g., Mg and Cy, or Gr and Ye, may be switched. Furthermore, the array is not limited to these 4 colors, and the aforementioned 4 colors may be any combination of 4 colors selected from the above and, e.g., other colors, such as red Rd, blue Bl, and white Wh, etc.

[0043]

Figure 3 is a frequency characteristic chart showing the characteristics of the color carriers in the spatial frequency plane ( $f_H$ ,  $f_V$ ) of the image pickup element 1 in which this kind of color filter is disposed. In Figure 3, arrows represent the carriers for the various colors Mg, Gr, Cy, and Ye, and the direction of each arrow represents the phase relationship between the various colors.

[0044]

When this frequency characteristic is compared with the frequency characteristics of past image pickup elements shown in Figures 10 and 12, it can be seen that no color carriers occur at the position of the frequency  $f_v = \frac{1}{4} P_v$  in the vertical direction in this embodiment. Therefore, it is difficult for color moiré effects that are caused by aliasing from these color carriers to occur. Furthermore, since there are no color carriers on the  $f_v$  axis, resolution can be obtained in the brightness signal at up to the theoretical resolution limit of  $f_v = \frac{1}{2} P_v$ .

/6

[0045]

Next, a second embodiment of the color image pickup device of this invention will be described, based on Figure 4. In Figure 4, components corresponding with the structural elements in Figure 1 are given the same legend, and since their operation is basically the same as it was in Figure 1, their detailed description will be omitted.

[0046]

In this embodiment, a gain adjustment circuit 20 is disposed at the step before the A/D converter 3, which gain adjustment circuit 20 is characterized by adjusting the gain of the image pickup signal obtained for each pixel Mg, Gr, Cy, Ye so that they are uniform with an achromatic subject. Further, while gain adjustment may be performed on the analog signal prior to A/D conversion, as shown in Figure 4, it may also be performed after A/D conversion in cases where the A/D converter 3 has adequate quantization accuracy.

[0047]

Performing this kind of gain adjustment not only prevents extraneous modulation components from piggy-backing on the brightness signal, but is also able to improve the color signal as shown below.

[0048]

Now, let the Matrix A in the conversion equation shown in Equation (2) equal

$$A = (a_{ij})(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4) \quad \dots (5)$$

Meanwhile, since the gain of each pixel Mg, Gr, Cy, Ye is adjusted to be uniform with an achromatic subject, the baseband components of Mg, Gr, Cy, and Ye can be expressed as

$$Mg(f_H, f_V) = Gr(f_H, f_V) = Cy(f_H, f_V) = Ye(f_H, f_V) = \phi(f_H, f_V) \quad \dots (6)$$

using a given function  $\phi(f_H, f_V)$  in the frequency space.

[0049]

Wherein, if the baseband component of each color is given a sufficient bandwidth restriction by a two-dimensional filter, such as interpolation filters 6, 7, 8, 9, the carrier components at the position of frequency ( $\frac{1}{2} Ph, 0$ ) become

$$Mg(f_H, f_V) = Gr(f_H, f_V) = -\phi(f_H, f_V), Cy(f_H, f_V) = Ye(f_H, f_V) = \phi(f_H, f_V) \quad \dots (7)$$

[0050]

Consequently, the carriers in the RGB signal at this point are expressed, according to Equations (2), (5), (6), and (7), as

$$\begin{aligned} R(f_H, f_V) &= (-a_{11} - a_{12} + a_{13} + a_{14}) \phi(f_H, f_V), \\ G(f_H, f_V) &= (-a_{21} - a_{22} + a_{23} + a_{24}) \phi(f_H, f_V), \\ B(f_H, f_V) &= (-a_{31} - a_{32} + a_{33} + a_{34}) \phi(f_H, f_V) \quad \dots (8) \end{aligned}$$

[0051]

According to this, if the sum of the coefficients of the 1<sup>st</sup> row and 2<sup>nd</sup> row in each line of Matrix A is equal to the coefficients of the 3<sup>rd</sup> row and 4<sup>th</sup> row, i.e., if the coefficient

$$a_{i1} + a_{i2} = a_{i3} + a_{i4} \quad (i = 1, 2, 3) \quad \dots (9)$$

is true, then the carrier components in the RGB signal will be eliminated at this point ( $\frac{1}{2} Ph, 0$ ), and no carrier components will arise in the color signal at this point.

[0052]

In other words, since the carrier components in the vertical direction of the color signal can be eliminated by constructing the Matrix A in the RGB converter 10a so that it meets the conditions shown in Equation (9), it thus becomes possible to diminish the color moiré effect occurring in subjects with fine achromatic patterns.

[0053]

Further, in cases where gain adjustment can be accurately performed at various color temperatures by the gain adjustment circuit 20, it is unnecessary to adjust the white balance with a white balance component 11.

[0054]

Next, a third embodiment of the color image pickup device of this invention will be described. In this embodiment, an optical low-pass filter 50 constructed as shown in Figure 7(a) is used as the optical low-pass filter that is disposed in front of the image pickup element 1, as shown in Figure 5. Further, the structure in Figure 5 other than the optical low-pass filter 50 is the same as

the structure of the color image pickup device in the first embodiment shown in Figure 1. Additionally, the structure other than the optical low-pass filter 50, as shown in Figure 6, is the same as the structure of the color image pickup device in the second embodiment shown in Figure 4.

[0055]

In Figure 7(a), the optical low-pass filter 50 comprises a first optical member made from a birefringence plate 51 that splits light rays incident from a direction  $45^\circ$  from the horizontal direction at a first distance  $d_1$  in two, a second optical member made from a birefringence plate 52 that splits light rays incident from the horizontal direction at a second distance  $d_2$  in two, and a third optical member made from a birefringence plate 53 that splits light rays incident from a direction  $-45^\circ$  from the horizontal direction at the first distance  $d_1$  in two. Incident light rays are directed to the trajectories shown in Figure 7(b) by the action of these birefringence plates 51–53.

[0056]

This optical low-pass filter 50 is constructed so that it meets the conditions shown by the following inequality with respect to the first distance  $d_1$ :

$$1.6 \text{ PhPv} / |2\text{Phsin}\theta + \text{Pvcos}\theta| \leq d_1 \leq 2.4 \text{ PhPv} / |2\text{Phsin}\theta + \text{Pvcos}\theta|$$

$$(0 \leq \theta \leq \pi/2) \quad \dots (10)$$

/7

[0057]

Namely, aliasing due to color carriers, particularly the color moiré effect, cannot be suppressed if the first distance  $d_1$  is less than the lower limit shown in Inequality (10). Conversely, adequate resolution cannot be obtained if it is greater than the upper limit. Consequently, it is necessary that the first distance  $d_1$  fulfill Inequality (10) in order to prevent color moiré and obtain adequate resolution.

[0058]

Incidentally, the transmission characteristics (MTF characteristics) of this optical low-pass filter 50 are expressed by the following equation.

$$H_2(f_H, f_V) = | \cos(\pi d_2 f_H) \cdot \cos(\pi/\sqrt{2} \cdot d_1 (f_H + f_V)) \cdot \cos(\pi/\sqrt{2} \cdot d_1 (f_H - f_V)) |$$

$$\dots (11)$$



[0059]

Wherein, the following coefficient is true in a 640 horizontal  $\times$  480 vertical nominal pixel count image pickup element, which is the image pickup element used in the case, e.g., of a NTSC display screen with a 3:4 aspect ratio.

$$P_h = P_v \quad \dots (12)$$

Therefore, the first distance  $d_1$  and second distance  $d_2$  in this embodiment are

$$d_1 = 2\sqrt{2}/3 \cdot P_h, d_2 = P_h/2 \quad \dots (13)$$

[0060]

The MTF characteristics that meet the conditions in this Equation (13) are represented by a graph like that shown in Figure 8(a). Additionally, the characteristics in a spatial frequency plane ( $f_H, f_V$ ) are represented as shown in Figure 8(b). In Figure 8(b), the dotted lines 54a, 54b, 55a, 55b, 56a, 56b are resonant frequencies that are trapped by the optical low-pass filter. Thus, it can be seen that the optical low-pass filter 50 traps all of the carrier frequencies in the brightness and both color difference signals.

[0061]

In addition, since frequency components higher than the resolution limit frequency  $f_H = \frac{1}{2} P_h$  can be sufficiently suppressed, as can be seen from Figure 8(a), aliasing distortion will not occur in the brightness. Consequently, color moiré can thus be diminished. Furthermore, as is apparent from Equations (11), (12), and (13), and Figure 8(a), since MTF does not drop below -15db in the frequency range  $f_H \leq \frac{1}{2} P_h$ , resolution can be ensured at up to nearly the resolution limit frequency  $f_H = \frac{1}{2} P_h$ .

[0062]

Meanwhile, in currently widely used image pickup elements in which the brightness signal sampling frequency is 4 times the propagation frequency  $f_{SC}$  of the color difference signal, the following relationship is true.

$$P_h = 1.2 P_v \quad \dots (14)$$

At this time, if the first distance  $d_1$  and second distance  $d_2$  are

$$d_1 = P_h, d_2 = P_h/2 \quad \dots (15)$$

then the same effects as the effects described above can be obtained.

[0063]

With this embodiment, as described above, on the one hand, high resolution up to the limit resolution can be obtained depending on the characteristics of the optical low-pass filter 50, while

on the other hand, color moiré can be sufficiently suppressed by the action of the color filter array in the image pickup element 1 and the characteristics of the optical low-pass filter 50.

Consequently, when designing the optical low-pass filter 50, it is no longer necessary to consider the tradeoff between resolution and color moiré, so that design can prioritize resolution. Therefore, since the optical low-pass filter 50 can be made thin and compact, it becomes possible to make the overall image pickup optical system more compact.

[0064]

Further, it is possible in the first through third embodiments to output the resulting brightness signal Y and color difference signals R-Y, B-Y either interlaced or non-interlaced, regardless of the presence of a gain adjustment circuit 20. Non-interlaced output is advantageous for image compression, as in card cameras, etc., and is suited to computer input. Interlaced output can be used for video cameras and still/video cameras. At this time, a D/A converter that converts the output signal to an analog signal is necessary at the output terminal.

[0065]

The various processing described above, such as interpolation, bandwidth limiting, and RGB conversion, etc. are all linear processes. Consequently, since the effect is the same whether this processing is sequenced before or after, the hardware in which it is used can be constructed with these various processors placed in any order. Consequently, simply changing their order, they are still equivalent to the block diagrams described above, and are all included in this invention.

[0066]

Effect of the invention

Since the color filter array disposed on the image pickup element has an offset sampling structure with colors repeating in a 2 pixel period different from one another in the vertical direction, and with different colors repeated offset by a 2 pixel period in the horizontal direction and by one pixel in the vertical direction, color carriers in the horizontal direction and vertical direction can be reduced, and the color moiré effect in the horizontal direction and vertical direction caused by these color carriers can be diminished. Furthermore, since color carriers occurring at the resolution limit can be diminished, high resolution can be obtained up to the resolution limit.

[0067]

Furthermore, since the optical low-pass filter is constructed using optical members that split incident light rays into two light rays separated by a distance D that meets a constant

condition, in directions forming an angle  $\theta$  in the clockwise or counter-clockwise direction relative to the scanning direction of the image pickup element, sufficient MTF characteristics can be obtained in the range below the limit resolution and high resolution can be obtained up to the limit resolution, and it is possible to diminish the color moiré effect caused by aliasing distortion of the color carriers occurring at above the frequency of the limit resolution. Consequently, it is no longer necessary to consider the tradeoff between resolution and color moiré, so that design can prioritize resolution and high-resolution still frame images can be photographed.

[0068]

In addition, since the gain of the output from the image pickup element can be adjusted so that the outputs from the 4 types of color filters are uniform, and since the matrix calculation performed when forming an RGB signal from this output is performed using a 3-line  $\times$  4-row matrix, in which the sum of the coefficients of any two rows is equal to the sum of the remaining two coefficients in all the lines, color carriers can be further decreased in the vertical direction, which has the effect of allowing for further decreases in color moiré effect in the vertical direction, yielding even better quality images.

[0069]

In addition, since these processes can be performed digitally, there are advantages in uniform and stable performance, etc.

#### Brief description of the figures

Figure 1 is a block diagram showing a first embodiment of the color image pickup device of this invention.

Figure 2 is a drawing showing the color filter disposition in the image pickup element that constitutes the color image pickup device of this invention.

Figure 3 is a characteristic chart of the color carriers in the spatial frequency plane of the image pickup element that constitutes the color image pickup device of this invention.

Figure 4 is a block diagram showing a second embodiment of the color image pickup device of this invention.

Figure 5 is a block diagram showing a third embodiment of the color image pickup device of this invention.

Figure 6 is a block diagram showing another configuration for the third embodiment of the color image pickup device of this invention.

Figure 7 is a structural drawing of the optical low-pass filter that constitutes the color image pickup device of the third embodiment.

Figure 8 is a characteristic diagram for the optical low-pass filter that constitutes the color image pickup device of the third embodiment.

Figure 9 is a drawing showing the filter disposition in an image pickup element that constitutes a conventional color image pickup device.

Figure 10 is a characteristic diagram of color carriers in the spatial frequency plane of the image pickup element that constitutes a conventional color image pickup device.

Figure 11 is a drawing showing the sampling structure in the image pickup element in Figure 9 during pixel mixture readout.

Figure 12 is a characteristic diagram of color carriers in the spatial frequency plane based on the sampling structure in Figure 11.

Figure 13 is a characteristic diagram showing the pass-bandwidth of a conventional optical low-pass filter.

Figure 14 is a structural drawing of a conventional optical low-pass filter.

Figure 15 is a characteristic diagram for a conventional optical low-pass filter.

#### Reference symbols

1	Image pickup element
3	A/D converter
4	Buffer memory
10, 10a	RGB converter
20	Gain adjustment circuit
50	Optical low-pass filter
51, 52, 53	Birefringence plate
54a, 54b, 55a, 55b, 56a, 56b	Frequency trajectories trapped by the optical low-pass filter

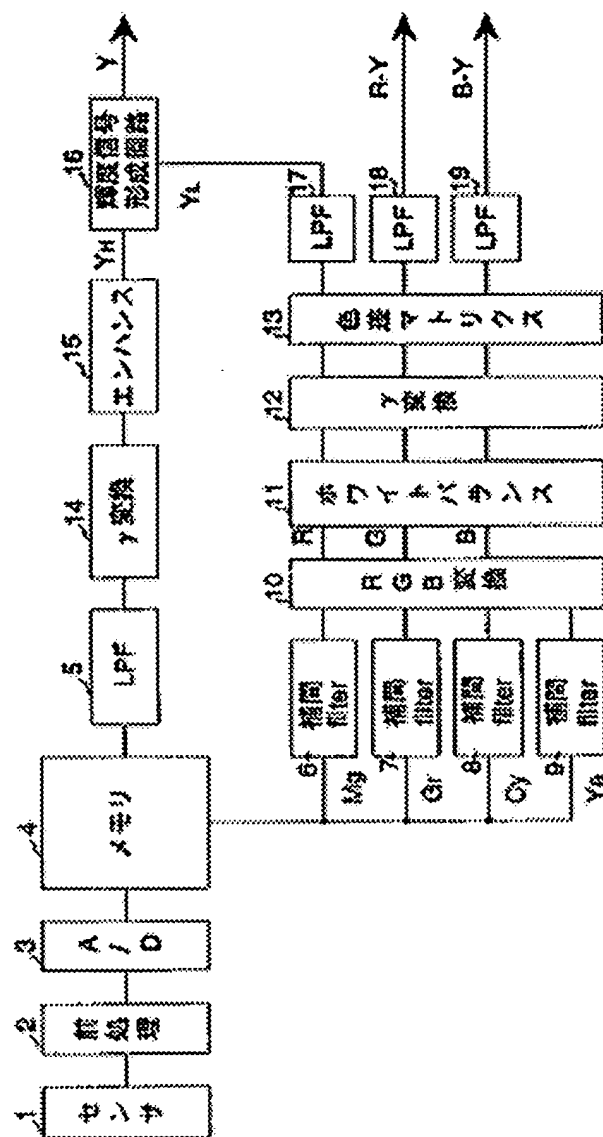


Figure 1

- Key:
- 1 Sensor
  - 2 Pre-processor
  - 4 Memory
  - 6, 7, 8, 9 Interpolation Filter
  - 10 RGB Converter
  - 11 White Balance
  - 12  $\gamma$  Converter
  - 13 Color Difference Matrix
  - 14  $\gamma$  Converter
  - 15 Enhancer
  - 16 Brightness Signal Formation Circuit

Cy	Mg	Yb	Gr
Yb	Gr	Cy	Mg
Cy	Mg	Yb	Gr
Yb	Gr	Cy	Mg
Cy	Mg	Yb	Gr
Yb	Gr	Cy	Mg

Figure 2

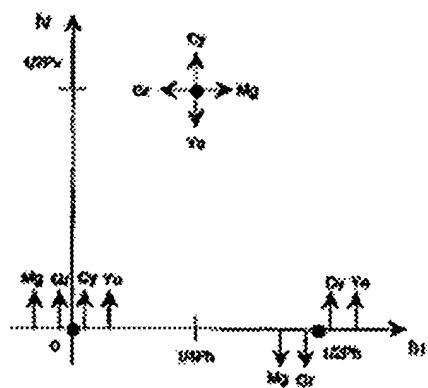


Figure 3

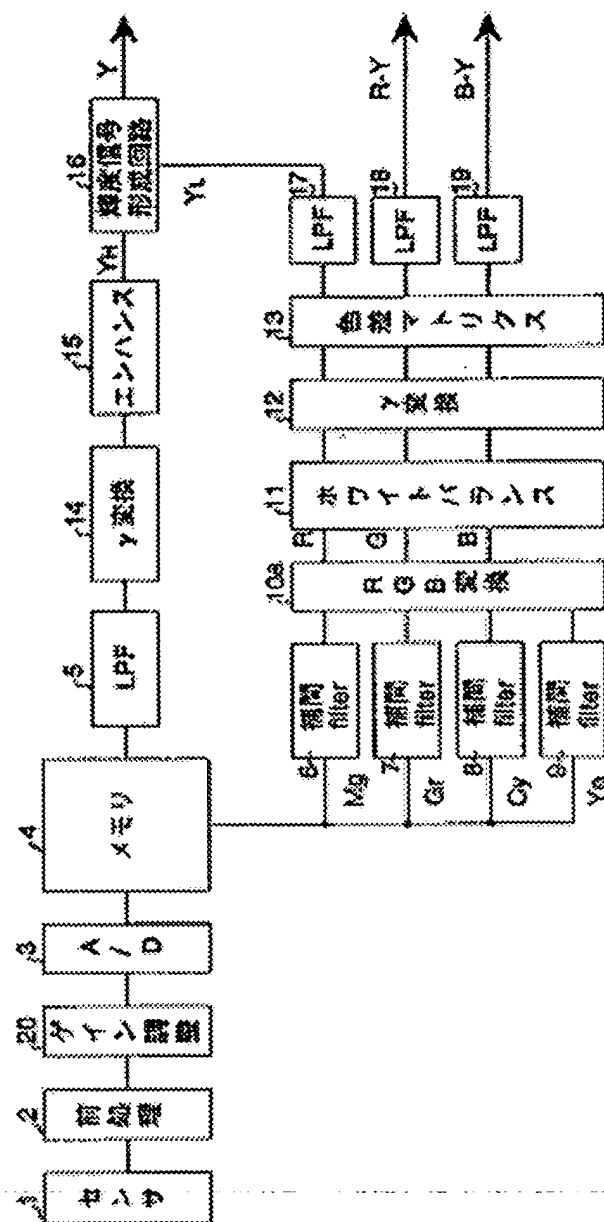


Figure 4

- Key:
- 1 Sensor
  - 2 Pre-processor
  - 4 Memory
  - 6, 7, 8, 9 Interpolation Filter
  - 10a RGB Converter
  - 11 White Balance
  - 12  $\gamma$  Converter
  - 13 Color Difference Matrix
  - 14  $\gamma$  Converter
  - 15 Enhancer

- 16 Brightness Signal Formation Circuit  
20 Gain Adjustment

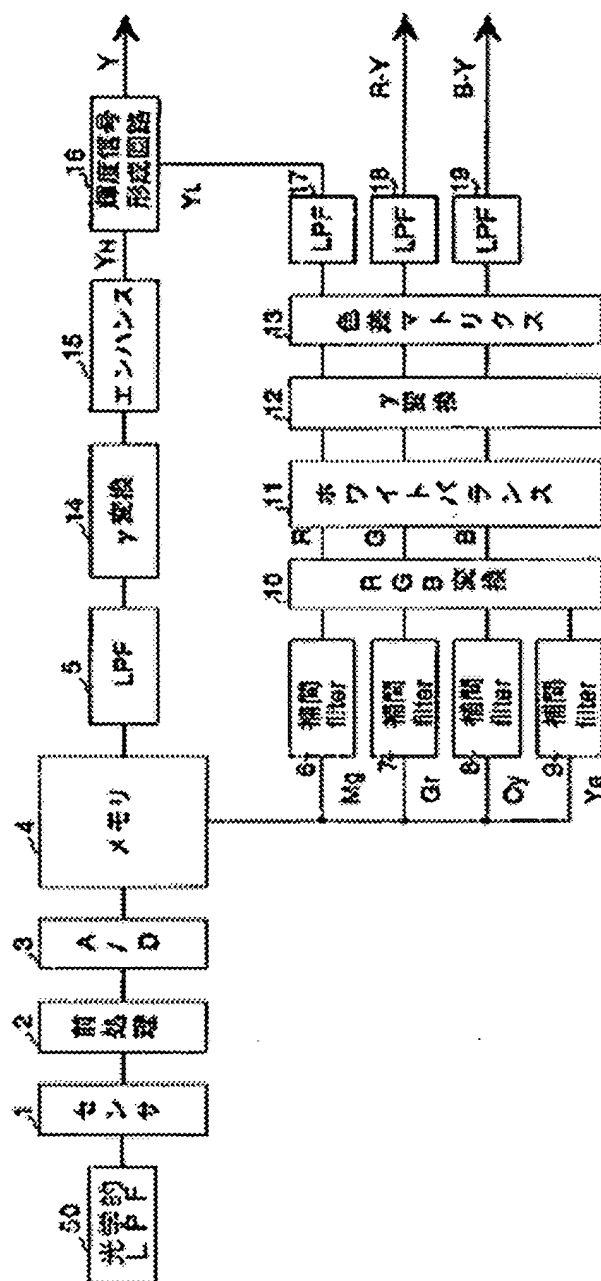


Figure 5

- Key: 1 Sensor  
2 Pre-processor  
4 Memory  
6, 7, 8, 9 Interpolation Filter  
10 RGB Converter



11	White Balance
12	$\gamma$ Converter
13	Color Difference Matrix
14	$\gamma$ Converter
15	Enhancer
16	Brightness Signal Formation Circuit
50	Optical LPF

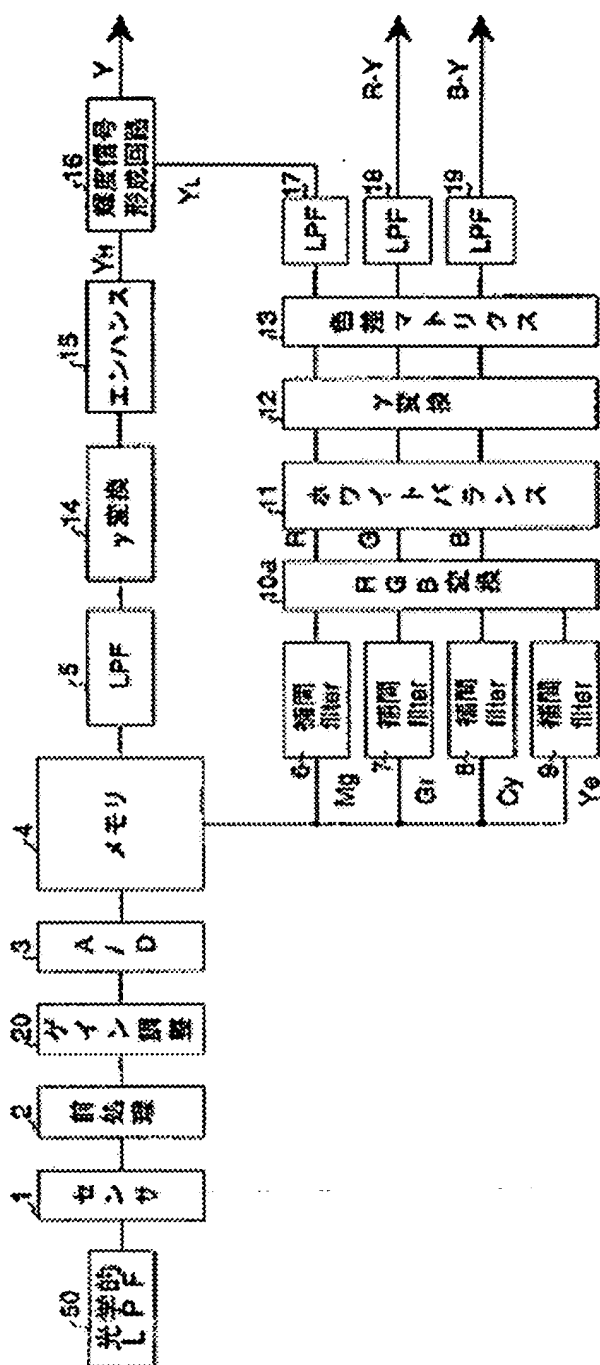


Figure 6

- Key:
- 1 Sensor
  - 2 Pre-processor
  - 4 Memory
  - 6, 7, 8, 9 Interpolation Filter
  - 10a RGB Converter
  - 11 White Balance

- 12  $\gamma$  Converter
- 13 Color Difference Matrix
- 14  $\gamma$  Converter
- 15 Enhancer
- 16 Brightness Signal Formation Circuit
- 20 Gain Adjustment
- 50 Optical LPF

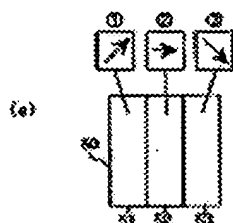


Figure 7

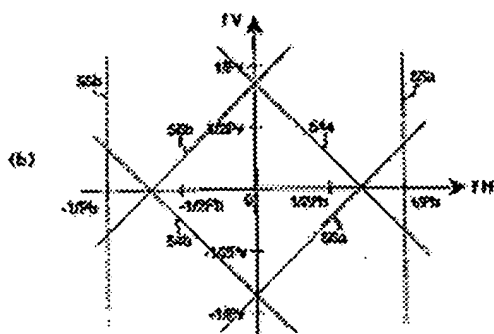
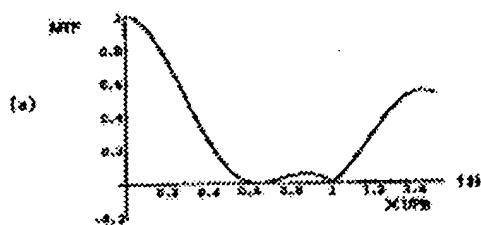


Figure 8

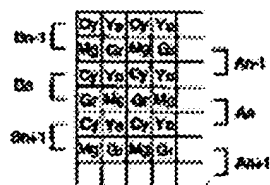


Figure 9

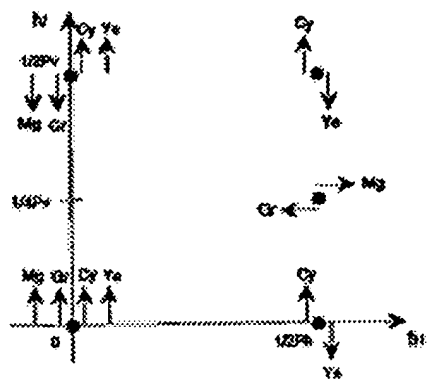


Figure 10

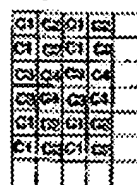


Figure 11

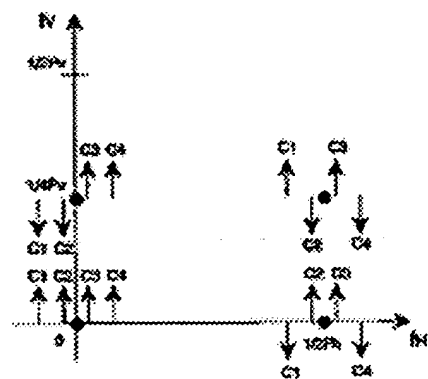


Figure 12

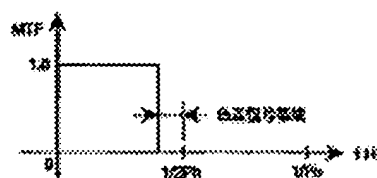


Figure 13

Key: 1 ← Color Difference Signal Bandwidth

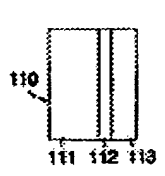


Figure 14

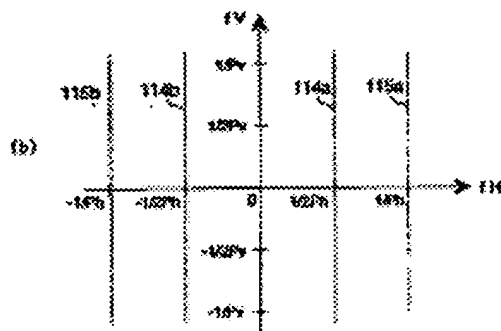
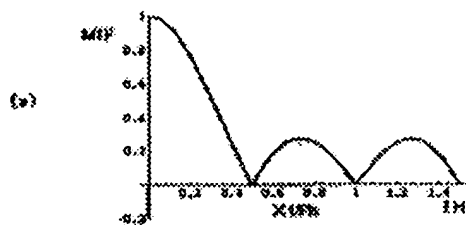


Figure 15



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 4種類のカラーフィルターを有し、垂直方向に対しては2画素周期で相異なる色のカラーフィルターが繰り返され、水平方向に対しては2画素周期で、かつ垂直方向に1画素だけオフセットされて相異なる色のカラーフィルターが繰り返されるようなオフセットサンプリング構造を持つ撮像素子と、

上記撮像素子からの出力を一旦記憶するメモリとを備え、

上記メモリから必要な情報を読み出してデジタル信号処理を行うことにより画像を得るようにしたことを特徴とするカラー撮像装置。

\*

$$1. 6PhPv / |2Ph \sin \theta + Pvc \cos \theta| \leq D \leq 2. 4PhPv / |2Ph \sin \theta + Pvc \cos \theta| \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2)$$

なる条件を満たすように構成された光学的ローパスフィルターと、

上記撮像素子からの出力を一旦記憶するメモリとを備え、

上記メモリから必要な情報を読み出してデジタル信号処理を行うことにより画像を得るようにしたことを特徴とするカラー撮像装置。

【請求項3】 上記撮像素子からの出力を、無彩色の被写体に対して、上記4種類のカラーフィルターからの出力が一定になるようにゲインを調整するゲイン調整手段と、

すべての行において、任意の2つの列の係数の和が残りの2つの係数の和に等しい3行4列のマトリクス演算を行うことにより、上記4種類のカラーフィルターの出力からRGB信号を形成する信号形成手段とを有することを特徴とする請求項1または2記載のカラー撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、2次元に複数個の受光素子が配置されてなる固体撮像素子を備えたカラー撮像装置に関し、特に、メモリを用いてデジタル信号処理を行うカラー撮像装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年の半導体技術の急速な進歩により、ビデオ信号処理の分野では、デジタル的に信号処理を行うようにしたものが本命となりつつある。これは、デジタル信号処理は、アナログ信号処理に比べてICの集積化・高精度化、種々の調整の容易さ、S/N比の良さなどの点で有利であるからである。

【0003】このため、撮像素子においても、小型・軽量・高信頼性などの長所を持つことから、デジタル対応の種々の方式が開発されてきた。その中でビデオカメラや電子スチルカメラ用の撮像素子としては、高解像度、S/N比の良さ、信号処理の容易さなどの観点から、図9に示すようなカラーフィルター配置を持つCCD型撮像素子が今日最も一般的に用いられている。

※50

\*【請求項2】 4種類のカラーフィルターを有し、垂直方向に対しては2画素周期で相異なる色のカラーフィルターが繰り返され、水平方向に対しては2画素周期で、かつ垂直方向に1画素だけオフセットされて相異なる色のカラーフィルターが繰り返されるようなオフセットサンプリング構造を持つ撮像素子と、  
入射した光線を上記撮像素子の走査方向に対して時計回りまたは反時計回りに $\theta$ の角度をなす方向で、距離Dだけ離れた2本の光線に分離する光学部材を有し、上記撮像素子の水平方向のピッチをPh、垂直方向のピッチをPvとしたときに、距離Dが、

※【0004】図9から明らかなように、この撮像素子は、水平方向に対して2画素周期で相異なる色を繰り返すカラーフィルターを有している。そして、そのフィルター配列は、マゼンタMgとグリーンGrとが繰り返されるラインと、シアンCyとイエローYeとが繰り返されるラインとからなる。また、MgとGrはオフセットサンプリング配列になっており、CyとYeは正方サンプリング配列になっている。なお、これとは逆に、MgとGrが正方サンプリング配列で、CyとYeがオフセットサンプリング配列になっているものもある。

【0005】図10は、このようにカラーフィルターが配された撮像素子の空間周波数平面( $f_H$ ,  $f_V$ )上における色キャリアの特性を示す図である。図10において、矢印はMg、Gr、Cy、Yeの各色のキャリアを表しており、また矢印の向きはその各色の位相関係を表している。ただし、 $f_H$ は水平方向の周波数を示し、 $f_V$ は垂直方向の周波数を示している。

【0006】この撮像素子から信号を読み出す方法としては、通常、画素混合読み出し(あるいはフィールド読み出し)と呼ばれる方法が用いられる。これは、光電変換された信号電荷を2行ずつ混合して読み出す方法である。この方法によれば、信号電荷は、例えば図9に示すように、Aフィールドでは $A_{n-1}$ ,  $A_n$ ,  $A_{n+1}$ , ... というように読み出される。また、Bフィールドでは $B_{n-1}$ ,  $B_n$ ,  $B_{n+1}$ , ... というように読み出される。

【0007】この結果、この撮像素子からは、(Mg+Cy)と(Ye+Gr)、および(Cy+Gr)と(Mg+Ye)の画素信号が交互に出力される。いま便宜上撮像素子から得られる信号を、

$$C_1 = Mg + Cy$$

$$C_2 = Ye + Gr$$

$$C_3 = Cy + Gr$$

$$C_4 = Mg + Ye$$

と呼ぶことにすると、これら4つの信号が得られるときの空間的な重心の位置の集合は、図11に示すようなC

1、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>による正方サンプリング構造と考えることができる。そして、この画素信号を基に各フィールドの輝度信号および色信号を形成することにより、カラー画像を得るようにしている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図9に示すようなカラーフィルター配置を持つ撮像素子を用いて画素混合読み出しを行うときには、以下に示すような問題が生じる。第1に、この撮像素子を電子スチルカメラなどによる静止画の撮影に用いようすると、画素混合読み出しのため、片方のフィールドの画像しか得られず、このため解像度の高い、いわゆるフレーム画を得ることができない。

【0009】第2に、画素混合読み出しを行うときは、上述のように、図11に示したようなサンプリング構造による撮像素子から輝度信号や色信号を形成することになるが、このためには1行分飛ばした2つの行データを用いなくてはならない。このため、空間的に離れた2点の情報を足し合わせることになるので、垂直方向の相関が減少し、特に垂直方向に対する解像度が劣化する。

【0010】第3に、上述のように色信号の垂直方向の相関が減少するため、色モアレが目立ちやすくなる。これは以下に示す理由による。図12は、図11のような構造に基づく撮像素子の空間周波数平面( $f_H$ ,  $f_V$ )上における色キャリアの特性を示す図である。図12において、矢印はC<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>の各色のキャリアを表しており、また矢印の向きはその各色の位相関係を表している。また、P<sub>H</sub>は撮像素子の水平方向のピッチ、P<sub>V</sub>は垂直方向のピッチを表している。

【0011】これを、図10に示した空間周波数平面( $f_H$ ,  $f_V$ )上における色キャリアの特性と比較すると、図12においては垂直方向の比較的低い周波数(0, 1/4P<sub>V</sub>)に色キャリアが発生していることがわかる。これは、NTSC規格のビデオカメラでは240TV本に相当する。そして、この色キャリアの作用により、垂直方向の比較的低い周波数で色モアレが発生してしまうのである。また、図10によれば、垂直方向の周波数(0, 1/2P<sub>V</sub>)にもキャリアが発生していることがわかる。そして、この色キャリアの作用により、\*

$$H_1(f_H, f_V) = |\cos(\pi/2 \cdot P_H f_H) \cdot \cos(\pi P_H f_H)| \cdots (1)$$

なる式で表される。

【0017】そして、これをグラフに表したものが図15(a)であり、空間周波数平面( $f_H$ ,  $f_V$ )上における特性として表したものが図15(b)である。図15(b)において、点線114a、114b、115a、115bは光学的低パスフィルター110がトラップする共振周波数である。これより、光学的低パスフィルター110は、輝度信号のキャリア周波数 $f_H = 1/P_H$ 、および色差信号のキャリア周波数 $f_H = 1/\sqrt{2}$

\*無彩色の細かい模様の被写体を撮影した場合にも色モアレが発生してしまう。

【0012】第4に、色モアレの発生を防止するために用いられる光学的低パスフィルターの特性から、十分な解像度を得ることができない。すなわち、図10および図12の両図において、水平方向の周波数(1/2P<sub>H</sub>, 0)の位置に色キャリアが発生していることがわかる。この色キャリアは、一般には撮像素子の前に置かれる光学的低パスフィルターにより抑制するようになされているが、その一方で、この光学的低パスフィルターの使用は、水平方向の解像度の劣化をまねく。このため、従来のビデオカメラでは、解像度と色キャリアが引き起こす色モアレとのトレードオフで光学的低パスフィルターを設計し、画質を決定しなければならなかった。

【0013】この問題について、図13～図15を用いて詳細に説明する。サンプリング定理によれば、輝度信号は $f_H = 1/2P_H$ の周波数まで通過帯域をとることができるはずである。したがって、輝度信号の折り返し歪みを生じさせないためには、光学的低パスフィルターは、ナイキスト周波数である $f_H = 1/2P_H$ 以上の周波数成分を全て0にカットするものが理想的である。

【0014】ところが、上述のように $f_H = 1/2P_H$ の位置には色キャリアが発生するので、上述のような周波数特性を持つ光学的低パスフィルターを用いると、色差信号の折り返し歪みにより色モアレが発生してしまう。このため、光学的低パスフィルターの周波数特性は、図13に示すように、色キャリアの発生する $f_H = 1/2P_H$ の周波数より色差信号の帯域の分だけ低く通過帯域を設定しなければならない。

【0015】以上のことを前提とした従来の光学的低パスフィルターの概略的な構成を、図14に示す。図14において、光学的低パスフィルター110は、水平方向に距離P<sub>H</sub>だけ入射した光線を2本に分割する複屈折板111と、直線偏光を円偏光にする位相板112と、水平方向に距離P<sub>H</sub>/2だけ入射した光線を2本に分割する複屈折板113とで構成されている。

【0016】この光学的低パスフィルターの伝達特性(MTF特性)は、

※2P<sub>H</sub>をトラップすることがわかる。

【0018】また、上述のような特性を持つ光学的低パスフィルター110では、(1)式または図15(a)からもわかるように、色差信号のキャリア周波数 $f_H = 1/2P_H$ の約85%の周波数において既にMTFは-15dBまで落ち込み、 $f_H = 1/2P_H$ にいたってはMTFは0となっている。したがって、このような光学的低パスフィルター110を用いた従来のカラー撮像装置では、解像度限界である $f_H = 1/2P_H$ よ



りも低い解像度しか得ることができなかった。

【0019】また、図15(a)から明らかなように、 $f_H = 1/2Ph$ 以上の周波数成分が十分に抑制されていないので、これにより色キャリアの折り返し歪みによる色モアレが発生してしまうという問題もあった。

【0020】本発明は以上のような問題にかんがみ、デジタル信号処理により種々の処理の合理化を図るとともに、解像度がよく、色モアレが少なく、かつ、静止フレーム画も撮影可能なカラー撮像装置を提供することを目的としている。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明のカラー撮像装置は、4種類のカラーフィルターを有し、垂直方向に対しては2画素周期で異なる色のカラーフィルターが繰り返す

$$1. 6PhPv / |2Ph \sin \theta + Pvc \cos \theta| \leq D \leq 2. 4PhPv / |2Ph \sin \theta + Pvc \cos \theta| \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2)$$

なる条件を満たすように構成された光学的ローパスフィルターと、上記撮像素子からの出力を一旦記憶するメモリとを備え、上記メモリから必要な情報を読み出してデジタル信号処理を行うことにより画像を得るようにしたことを特徴とするものである。

【0023】本発明の更に他の特徴とするところは、上記撮像素子からの出力を、無彩色の被写体に対して、上記4種類のカラーフィルターからの出力が一定になるようにゲインを調整するゲイン調整手段と、すべての行において、任意の2つの列の係数の和が残りの2つの係数の和に等しい3行4列のマトリクス演算を行うことにより、上記4種類のカラーフィルターの出力からRGB信号を形成する信号形成手段とを有することを特徴とするものである。

【0024】

【作用】上述のように構成した本発明によれば、撮像素子に配される4種類のカラーフィルターを、垂直方向に対して2Ph、水平方向に対して2Pvで垂直方向にPhだけオフセットされたオフセットサンプリング構造による配列で配置したことにより、水平方向および垂直方向に発生する色キャリアが少なくなる。

【0025】更に、光学的ローパスフィルターを、入射した光線を撮像素子の走査方向に対して時計回りまたは反時計回りに $\theta$ の角度をなす方向で、一定の条件を満たす距離Dだけ離れた2本の光線に分離する光学部材を用いて構成したことにより、限界解像度以下の領域で十分なMTF特性が得られるとともに、限界解像度の周波数以上の周波数成分が充分抑制される。

【0026】また、撮像素子からの出力について、4種類のカラーフィルターからの出力が一定になるようにゲインを調整するとともに、それらの出力からRGB信号を形成する際に行われるマトリクス演算を、すべての行における任意の2つの列の係数の和を残りの2つの係数の和に等しくした3行4列のマトリクスを用いて行う※50

\*返され、水平方向に対しては2画素周期で、かつ垂直方向に1画素だけオフセットされて異なる色のカラーフィルターが繰り返されるようなオフセットサンプリング構造を持つ撮像素子と、上記撮像素子からの出力を一旦記憶するメモリとを備え、上記メモリから必要な情報を読み出してデジタル信号処理を行うことにより画像を得るようにしたことを特徴とするものである。

【0022】本発明の他の特徴とするところは、上記撮像素子と、入射した光線を上記撮像素子の走査方向に対して時計回りまたは反時計回りに $\theta$ の角度をなす方向で、距離Dだけ離れた2本の光線に分離する光学部材を有し、上記撮像素子の水平方向のピッチをPh、垂直方向のピッチをPvとしたときに、距離Dが、

※ことにより、垂直方向に発生する色キャリアが更に少なくなる。

【0027】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1は、本発明のカラー撮像装置の第1の実施例を示すブロック図である。図1において、1は図示しない光学的ローパスフィルターからの光を電気的な信号に変換する撮像素子で、後述するような4種類のカラーフィルターを配置している。

【0028】撮像素子1からは、1画素ごとに撮像信号が読み出される。撮像素子1から読み出された撮像信号は、前処理回路2でCDS（撮像素子1の出力信号のリセットノイズやクロックノイズの除去）、AGC（入力信号レベルの適正化）などの処理を受けた後、A/D変換器3により、読み出しクロックに同期したタイミングでA/D変換される。このA/D変換器3は、後で行われる色処理のために、リニアな特性を持つものがよく、量子化誤差の点から考えると8bit以上の精度でA/D変換を行うものが望ましい。

【0029】A/D変換された信号は、後で行われる2次元信号処理のために、一度バッファメモリ4に書き込まれる。そして、処理に必要な信号は、このバッファメモリ4から読み出される。

【0030】輝度信号に対応する信号は、撮像素子1の画素配列に対応した順序でバッファメモリ4から順次読み出され、ローパスフィルター5に入力される。ローパスフィルター5に入力された信号は、ここで所定の帯域制限がなされた後、 $\gamma$ 変換部14、エンハンサー15で所定の処理を受けて、高域成分を含む輝度信号 $Y_H$ とされる。このようにして得られた高域成分を含む輝度信号 $Y_H$ は、後述するような方法で得られる輝度の低域成分 $Y_L$ と輝度信号形成回路16で合成され、輝度信号Yとして出力される。

【0031】一方、色信号Mg、Gr、Cy、Yeに対

7

応する信号は、上記と同様にしてバッファメモリ4から読み出され、4つの補間フィルタ6、7、8、9により、各々同時化された色信号Mg、Gr、Cy、Yeとされる。続いて、これら4種の色信号は、RGB変換部10に入力され、R、G、Bの3原色信号に変換される。なお、この変換は、次に示すマトリクス演算により行われるものである。

【0032】

【数1】

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} Mg \\ Gr \\ Cy \\ Ye \end{bmatrix} \cdots (2)$$

【0033】ここで、マトリクスAは、撮像素子1のMg、Gr、Cy、Yeの分光特性Mg(λ)、Gr

$$\begin{bmatrix} Y \\ R-Y \\ B-Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.70 & -0.59 & -0.11 \\ -0.30 & -0.59 & 0.89 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R^Y \\ G^Y \\ B^Y \end{bmatrix} \cdots (3)$$

【0036】色差信号R-Y、B-Yは、それぞれ引き続くローパスフィルタ18、19で所定の帯域制限がなされた後、出力される。また、輝度の低域成分Y<sub>L</sub>は、ローパスフィルタ17で所定の帯域制限がなす

$$Y = Y_H - \delta (LPF17) * Y_H + \delta Y_L \quad (0 \leq \delta \leq 1) \cdots (4)$$

で示される変換式により行われるものである。ここで(LPF17)は、ローパスフィルタ17と同じ帯域を持つローパスフィルタであり、(LPF17) \* Y<sub>H</sub>は、ローパスフィルタ17と同じ帯域制限を高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>に対して行っていることを表している。

【0038】このような変換を行うのは、一般に、輝度の低域成分Y<sub>L</sub>は、分光特性上正しい輝度になっているが、S/N比が必ずしもよくなく、また、高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>は、逆にS/N比はよいが、分光特性上正しい輝度に必ずしもなっていないことによる。

【0039】ここでδは、輝度の低域成分Y<sub>L</sub>のS/N比がよい場合には、1に固定してよい。この場合、輝度信号形成回路16における処理は、高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>のうちの輝度の低域成分Y<sub>L</sub>と同じ帯域の部分をそっくり輝度の低域成分Y<sub>L</sub>に置き換えることに相当

する。【0040】また、高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>の分光特性が本来の輝度の特性に充分近いものであれば、δは0に固定してよい。この場合は、輝度信号形成回路16での処理をまったく行わず、高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>をそのまま輝度信号Yとして出力する場合に相当する。なお、δの値は、S/N比や色再現性などを考慮して、被写体の明るさや色の情報などに応じて変化させるようにしてもよい。

【0041】図2は、前述した撮像素子1に配されるカ

8

\* (λ)、Cy(λ)、Ye(λ)を、NTSC規格で定められたR、G、Bの理想分光特性R(λ)、G(λ)、B(λ)に近づけるように最適化された3行4列のマトリクスである。

【0034】次に、ホワイトバランス部11で、RGB変換部10により形成されたR、G、Bの3つの信号をそれぞれαR、G、βBという形に変換することによりホワイトバランスがとられる。続いて、RGB信号は、γ変換部12でテーブル変換によりγ変換された後、色差マトリクス部13に入力される。色差マトリクス部13では、次に示すようなNTSC規格にあった色差変換を行うことにより、前述した輝度の低域成分Y<sub>L</sub>と、2つの色差信号R-Y、B-Yとが生成される。

【0035】

【数2】

※れた後、前述したように、高域成分を含む輝度信号Y<sub>H</sub>と輝度信号形成回路16で合成され、輝度信号Yとして出力される。

【0037】この輝度信号形成回路16による合成は、

★ラーフィルタ配置の一実施例を示す図である。このカラーフィルタ配置は、Mg、Gr、Cy、Yeの4色で構成している。そして、垂直方向に対しては2Phで相異なる色を繰り返し、水平方向に対しては2Pvで、かつ垂直方向にPhだけオフセットして相異なる色を繰り返すようなオフセットサンプリング構造による配置としている。

【0042】なお、このカラーフィルタ配置は、必ずしもこの図2のとおりでなくてもよく、例えば、MgとCy、あるいはGrとYeを入れ替えたものであってもよい。更には、これらの4色に限らず、例えば、レッドRd、ブルーBl、ホワイトWhなどの色と、上記4色とのうちから任意に選んだ4色の組み合わせにより配置するようにしてもよい。

【0043】図3は、このようにカラーフィルタを配置した撮像素子1の空間周波数平面(f<sub>H</sub>, f<sub>V</sub>)上における色キャリアの特性を示す周波数特性図である。図3において、矢印はMg、Gr、Cy、Yeの各色のキャリアを表しており、また矢印の向きはその各色の位相関係を表している。

【0044】この周波数特性を、図10および図12に示した従来の撮像素子における周波数特性と比較すると、本実施例においては、垂直方向の周波数f<sub>V</sub> = 1/4Pvの位置には色キャリアが発生していないことがわかる。このため、これらの色キャリアからの折り返りに

より発生する色モアレが生じにくくなる。更に、 $f_v$  軸上に色キャリアがないため、輝度信号の解像度を原理的な解像度限界である  $f_v = 1/2 P_v$  まで得ることができる。

【0045】次に、本発明のカラー撮像装置の第2の実施例について、図4に基づいて説明する。図4において、図1の構成要素と対応する部分には同一符号を付しており、これらの基本的動作は図1におけるものと同一であるので、ここでは詳細な説明は省略する。

【0046】本実施例では、A/D変換器3の前段にゲイン調整回路20を配設し、このゲイン調整回路20により、Mg、Gr、Cy、Yeの各画素で得られる撮像\*

$$A = (a_{ij}) \quad (i=1, 2, 3; j=1, 2, 3, 4) \quad \dots (5)$$

とする。一方、ゲイン調整回路20により、Mg、Gr、Cy、Yeの各画素のゲインを無彩色の被写体に対して均一になるように調整しているため、Mg、Gr、C\*

$$Mg(f_H, f_v) = Gr(f_H, f_v) = Cy(f_H, f_v) = Ye(f_H, f_v) = \phi(f_H, f_v) \quad \dots (6)$$

と表すことができる。

【0049】ここで、各色のベースバンド成分は補間フィルタ6、7、8、9等の2次元フィルタにより充分な★

$$Mg(f_H, f_v) = Gr(f_H, f_v) = -\phi(f_H, f_v), Cy(f_H, f_v) = Ye(f_H, f_v) = \phi(f_H, f_v) \quad \dots (7)$$

となる。

【0050】したがって、RGB信号のこの点でのキャ

$$\begin{aligned} R(f_H, f_v) &= (-a_{11} - a_{12} + a_{13} + a_{14}) \phi(f_H, f_v), \\ G(f_H, f_v) &= (-a_{21} - a_{22} + a_{23} + a_{24}) \phi(f_H, f_v), \\ B(f_H, f_v) &= (-a_{31} - a_{32} + a_{33} + a_{34}) \phi(f_H, f_v) \end{aligned} \quad \dots (8)$$

のように表される。

【0051】これによれば、マトリクスAの各行で、第

$$a_{i1} + a_{i2} = a_{i3} + a_{i4} \quad (i=1, 2, 3) \quad \dots (9)$$

という関係が成り立てば、この点  $(1/2 P_H, 0)$  におけるRGB信号のキャリア成分は消滅し、この点における色信号のキャリア成分は発生しない。

【0052】すなわち、RGB変換部10aにおけるマトリクスAを、(9)式に示す条件を満足するように構成することにより、色信号の垂直方向のキャリア成分を消滅させることができるので、これにより無彩色の細かい模様の被写体で発生する色モアレを低減することが可能となる。

【0053】なお、ゲイン調整回路20によるゲイン調整が、各色温度で正確に行うことができる場合には、ホワイトバランス部11でのホワイトバランス調整は行う必要がない。

【0054】次に、本発明のカラー撮像装置の第3の実施例について説明する。本実施例では、図5に示すように、撮像素子1の前に置かれる光学的ローパスフィルタとして、図7(a)に示すような構成の光学的ローパスフィルタ50を使用する。なお、図5において、光\*

\*信号のゲインを、無彩色の被写体に対し均一になるように調整しているところに特徴がある。なお、このゲイン調整は、図4に示すようにA/D変換前のアナログ信号に対して行ってもよいが、A/D変換器3の量子化精度が充分ある場合は、A/D変換の後に行ってもよい。

【0047】このようなゲイン調整を行うことにより、輝度信号に不要な変調成分が重畳することがなくなるばかりでなく、色信号に対しても次に示すような改善をもたらすことができる。

【0048】いま、(2)式に示した変換式において、マトリクスAを、

\*y、Yeのベースバンド成分は、周波数空間上のある関数  $\phi(f_H, f_v)$  を用いて、

★帯域制限がされているものとする、図4における周波数  $(1/2 P_H, 0)$  の位置にあるキャリア成分は、

☆リア成分は、(2)、(5)、(6)、(7)式により、

30◆1列と第2列の係数の和が第3列と第4列の係数の和に等しければ、すなわち、

\*学的ローパスフィルタ50以外の他の構成については、図1に示した第1の実施例によるカラー撮像装置の構成と同一である。また、図6に示すように、光学的ローパスフィルタ50以外の他の構成を、図4に示した第2の実施例によるカラー撮像装置の構成と同一にしてもよい。

【0055】図7(a)において、光学的ローパスフィルタ50は、水平方向に対して  $45^\circ$  の方向に第1の距離  $d_1$  だけ入射した光線を2本に分割する複屈折板51より成る第1の光学部材と、水平方向に第2の距離  $d_2$  だけ入射した光線を2本に分割する複屈折板52より成る第2の光学部材と、水平方向に対して  $-45^\circ$  の方向に第1の距離  $d_1$  だけ入射した光線を2本に分割する複屈折板53より成る第3の光学部材とにより構成している。これらの複屈折板51～53の作用により、入射した光線は、図7(b)に示すような軌跡をたどることになる。

【0056】この光学的ローパスフィルタ50は、第

1の距離 $d_1$ について、

$$1. 6PhPv / |2Ph \sin \theta + Pv \cos \theta| \leq d_1 \leq 2. 4PhPv / |2Ph \sin \theta + Pv \cos \theta| \quad (0 \leq \theta \leq \pi/2) \cdots (10)$$

の不等式で示される条件を満足するように構成している。

【0057】すなわち、第1の距離 $d_1$ が不等式(10)で示す下限を越えると、色キャリアによる折り返し歪み、特に色モアレの発生を抑制することができない。逆に、上限を越えると、充分な解像度を得ることができ\*

$$H_2(f_H, f_V) = |\cos(\pi d_2 f_H) \cdot \cos(\pi/\sqrt{2} \cdot d_1 (f_H + f_V)) \cdot \cos(\pi/\sqrt{2} \cdot d_1 (f_H - f_V))| \cdots (11)$$

【0059】ここで、例えばNTSC方式で、表示画面の縦横比が3:4の場合に用いられる撮像素子であつて、その有効画素数が水平方向に640、垂直方向に480程度の撮像素子においては、ほぼ次の関係が成り立\*

$$d_1 = 2\sqrt{2/3} \cdot Ph, d_2 = Ph/2 \cdots (13)$$

としている。

【0060】この(13)式の条件を満たすMTF特性は、図8(a)に示すようなグラフで表される。また、空間周波数平面( $f_H, f_V$ )上における特性は、図8(b)のように表される。図8(b)において、点線54a、54b、55a、55b、56a、56bは、光学的低パスフィルター50がトラップする共振周波数である。これより、光学的低パスフィルター50は輝度、色差両信号のすべてのキャリア周波数をトラップしていることがわかる。

【0061】また、図8(a)からわかるように、解像度限界周波数 $f_H = 1/2Ph$ 以上の周波数成分を充分抑制しているので、輝度の折り返し歪みが発生することがない。したがって、これにより色モアレを低減することができる。更に、(11)、(12)、(13)式および図8(a)から明らかなように、MTFは、 $f_H \leq 1/2Ph$ の周波数領域では、-15dbを越えて落ち込むことはないので、ほぼ解像度限界周波数 $f_H = 1/2Ph$ まで解像度を確保することができる。

【0062】一方、現在広く用いられている、輝度信号のサンプリング周波数が色差信号の搬送周波数 $f_{sc}$ の4倍になる撮像素子では、ほぼ次の関係が成り立つ。

$$Ph = 1. 2Pv \cdots (14)$$

このときは、第1の距離 $d_1$ および第2の距離 $d_2$ を、 $d_1 = Ph, d_2 = Ph/2 \cdots (15)$

とすれば、上述の効果と同等の効果が得られる。

【0063】上述のように本実施例によれば、一方では、光学的低パスフィルター50の特性上、限界解像度まで高い解像度を得ることができ、他方では、撮像素子1のカラーフィルター配列による作用および光学的低パスフィルター50の特性により、色モアレを充分抑制することができる。したがって、光学的低パスフィルター50の設計の際に、解像度と色モアレとのトレードオフを考える必要がなくなり、解像度を優先した設計★50

\*なくなる。したがって、色モアレを防止し、かつ充分な解像度を得るためには、第1の距離 $d_1$ は不等式(10)を満足する必要があるのである。

【0058】ところで、この光学的低パスフィルター50の伝達特性(MTF特性)は、次の式で表される。

$$Ph = Pv \cdots (12)$$

そこで、本実施例では、第1の距離 $d_1$ および第2の距離 $d_2$ を、

★をすることができるようになる。このため、光学的低パスフィルター50を薄くコンパクトにすることができ、撮像光学系全体をコンパクトに構成することが可能になる。

【0064】なお、第1の実施例〜第3の実施例においては、ゲイン調整回路20の有無によらず、出力の輝度信号Y、色差信号R-Y、B-Yをノンインターレースで出力してもインターレースで出力してもよい。ノンインターレースで出力した場合は、カードカメラなどでの画像圧縮に有利であり、コンピューター入力にも適している。また、インターレースで出力した場合は、ビデオカメラや、スチルビデオカメラに用いることができる。このときは、出力信号をアナログ信号に変換するD/A変換器が出力端に必要となる。

【0065】また、上述の補間処理、帯域制限、RGB変換処理などの各処理はいずれも線形的な処理である。このため、これらの処理の順序が前後しても結果は同じになるので、使用するハードウェアに応じて、これらの各処理部の順序を入れ変えて構成してもよい。したがって、これらの順序を変更するだけで、以上説明したブロック図と等価になるものは、全て本発明に含まれる。

【0066】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、撮像素子に配置するカラーフィルター配列を、垂直方向に対しては2画素周期で相異なる色を繰り返し、水平方向に対しては2画素周期で、かつ垂直方向に1画素だけオフセットして相異なる色を繰り返すようなオフセットサンプリング構造による配列としたので、水平方向および垂直方向に発生する色キャリアを少なくすることができ、これらの色キャリアにより引き起こされる水平方向および垂直方向の色モアレを低減することができる。更に、解像度限界に発生する色キャリアを消滅させることができるので、解像度限界まで高い解像度を得ることができる。

【0067】更に、光学的ローパスフィルターを、入射した光線を撮像素子の走査方向に対して時計回りまたは反時計回りに $\theta$ の角度をなす方向で、一定の条件を満たす距離Dだけ離れた2本の光線に分離する光学部材を用いて構成したので、解像度限界以下の領域において十分なMTF特性が得られ、限界解像度まで高い解像度を得ることができるとともに、限界解像度の周波数以上で発生する色キャリアの折り返し歪みによる色モアレを低減することができる。したがって、光学的ローパスフィルターの設計の際には、解像度と色モアレとのトレードオフを考慮する必要がなくなり、解像度を優先した設計を行うことができ、高解像度の静止フレーム画をも撮影することができる。

【0068】また、撮像素子からの出力について、4種類のカラーフィルターからの出力が一定になるようにゲインを調整するとともに、それらの出力からRGB信号を形成する際に行われるマトリクス演算を、すべての行における任意の2つの列の係数の和を残りの2つの係数の和に等しくした3行4列のマトリクスを用いて行うようにしたので、垂直方向に発生する色キャリアが更に少なくなり、これにより、垂直方向の色モアレの更なる低減が図れ、良好な画像を得ることができる効果がある。

【0069】また、これらの処理をデジタル的に行うようにしたので、性能の均質、安定などの点で利点がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のカラー撮像装置の第1の実施例を示すブロック図である。

【図2】本発明のカラー撮像装置を構成する撮像素子のカラーフィルター配置を示す図である。

【図3】本発明のカラー撮像装置を構成する撮像素子の空間周波数平面上における色キャリアの特性図である。

【図4】本発明のカラー撮像装置の第2の実施例を示す

ブロック図である。

【図5】本発明のカラー撮像装置の第3の実施例を示すブロック図である。

【図6】本発明のカラー撮像装置の第3の実施例の他の構成を示すブロック図である。

【図7】第3の実施例のカラー撮像装置を構成する光学的ローパスフィルターの構成図である。

【図8】第3の実施例のカラー撮像装置を構成する光学的ローパスフィルターの特性図である。

10 【図9】従来のカラー撮像装置を構成する撮像素子のフィルター配置を示す図である。

【図10】従来のカラー撮像装置を構成する撮像素子の空間周波数平面上における色キャリアの特性図である。

【図11】図9の撮像素子について、画素混合読み出しをしたときのサンプリング構造を示す図である。

【図12】図11のサンプリング構造に基づく空間周波数平面上における色キャリアの特性図である。

【図13】従来の光学的ローパスフィルターの通過帯域を示す特性図である。

20 【図14】従来の光学的ローパスフィルターの構成図である。

【図15】従来の光学的ローパスフィルターの特性図である。

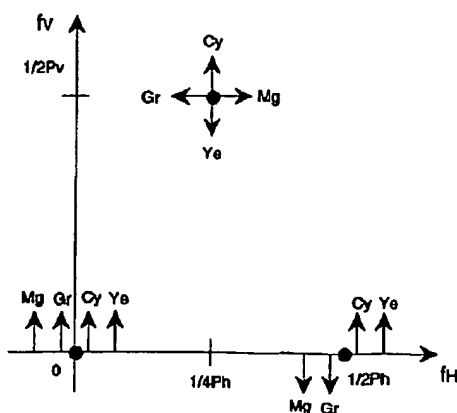
#### 【符号の説明】

- 1 撮像素子
- 3 A/D変換器
- 4 バッファメモリ
- 10、10a RGB変換部
- 20 ゲイン調整回路
- 50 光学的ローパスフィルター
- 51、52、53 複屈折板
- 54a、54b、55a、55b、56a、56b 光学的ローパスフィルターがトラップする周波数の軌跡

【図2】

Cy	Mg	Ye	Gr
Ye	Gr	Cy	Mg
Cy	Mg	Ye	Gr
Ye	Gr	Cy	Mg
Cy	Mg	Ye	Gr
Ye	Gr	Cy	Mg

【図3】



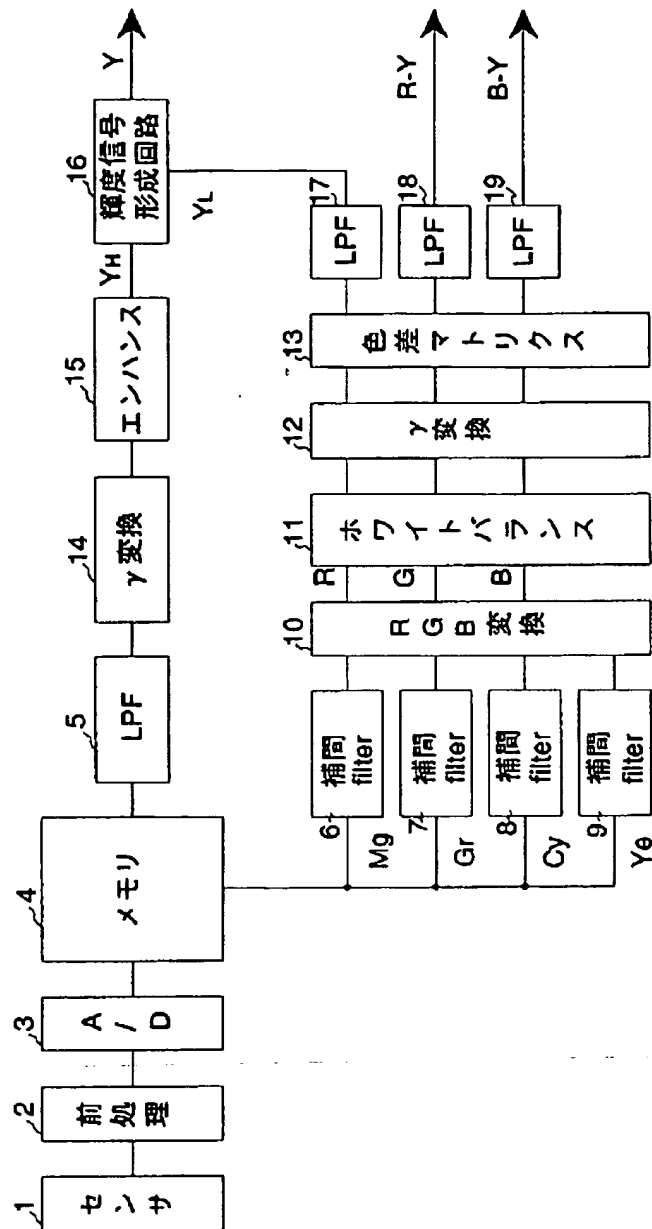
【図9】

Bn-1	Cy	Ye	Cy	Ye
	Mg	Gr	Mg	Gr
Bn	Cy	Ye	Cy	Ye
	Gr	Mg	Gr	Mg
Bn+1	Cy	Ye	Cy	Ye
	Mg	Gr	Mg	Gr

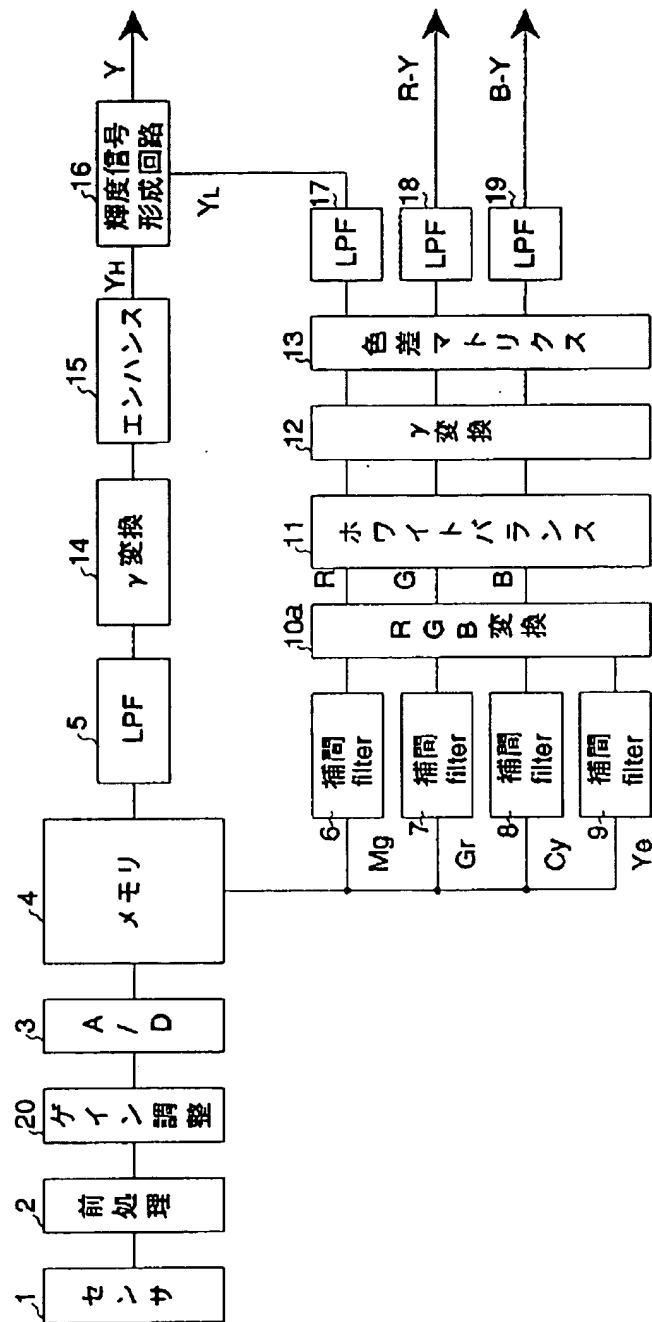
【図11】

C1	C2	C1	C2
C1	C2	C1	C2
C3	C4	C3	C4
C3	C4	C3	C4
C1	C2	C1	C2
C1	C2	C1	C2

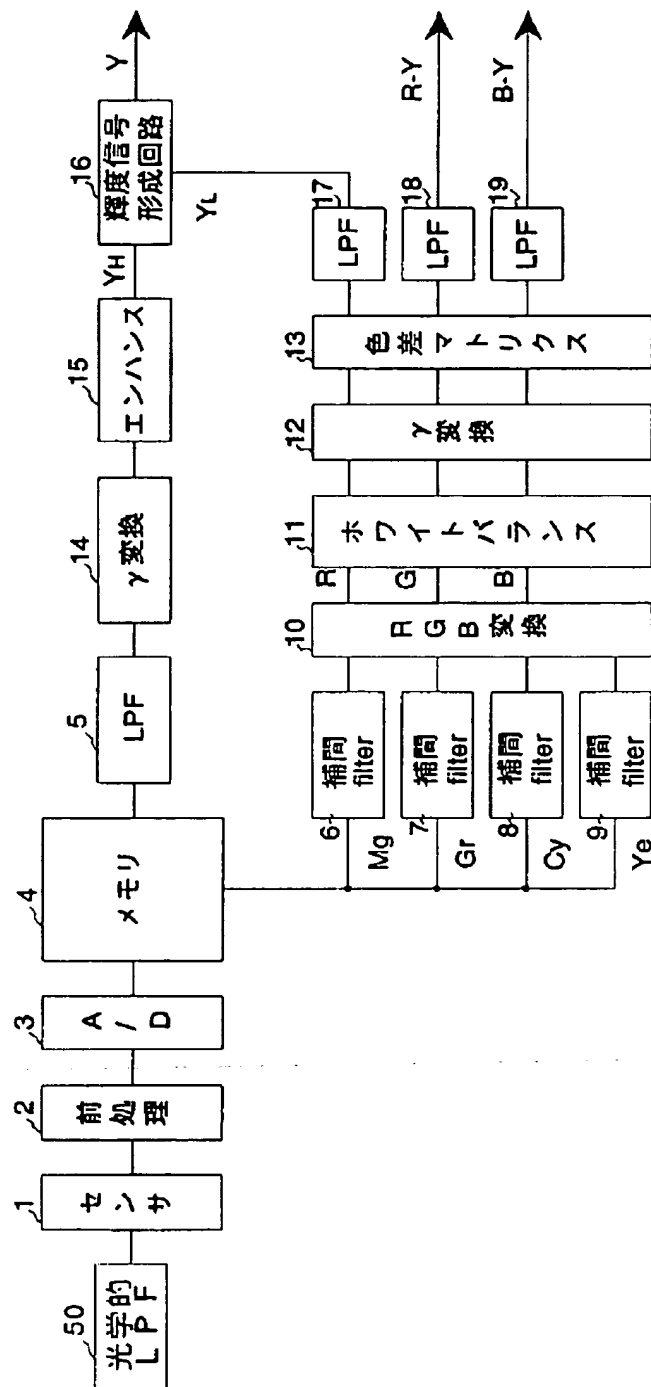
【図1】



【図4】

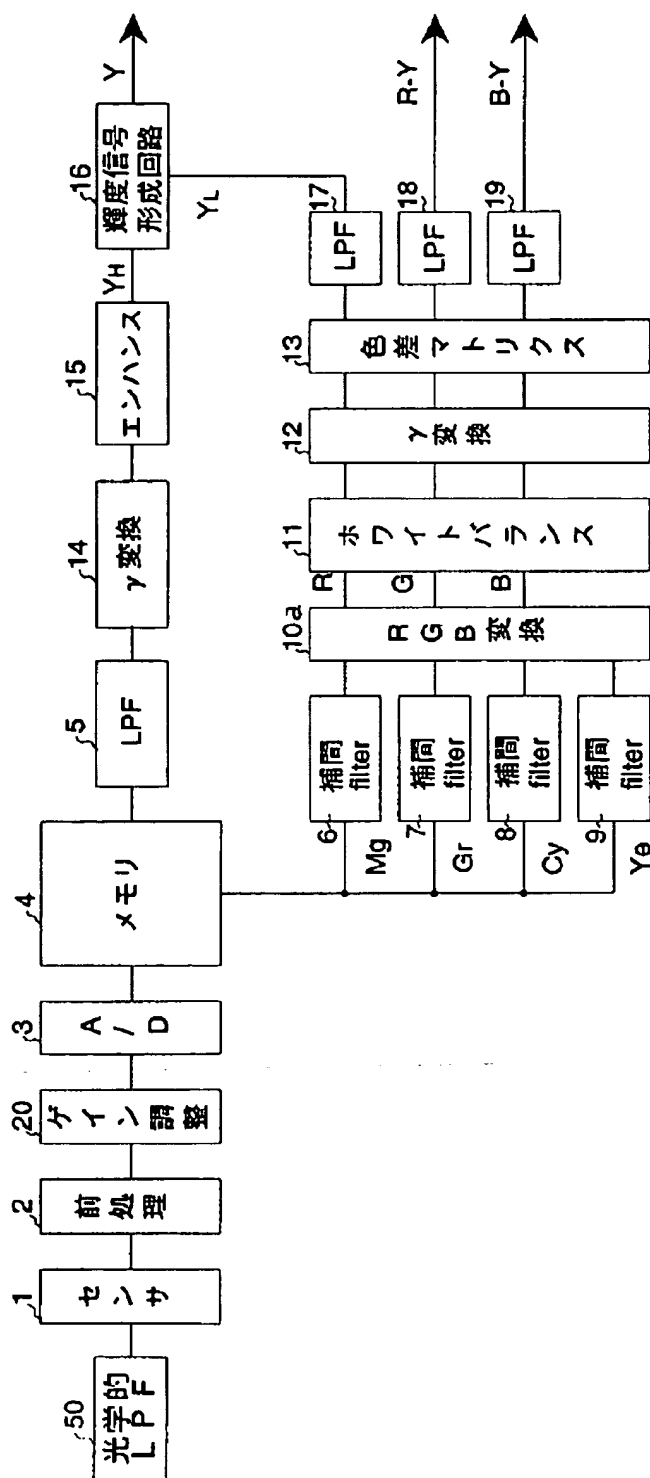


【図5】

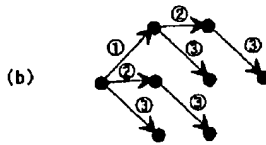
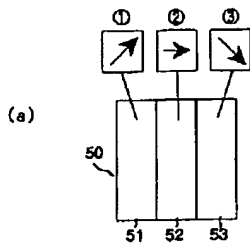




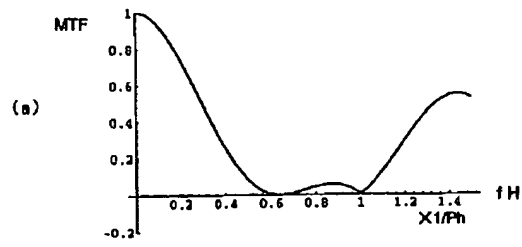
【図6】



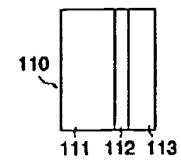
【図7】



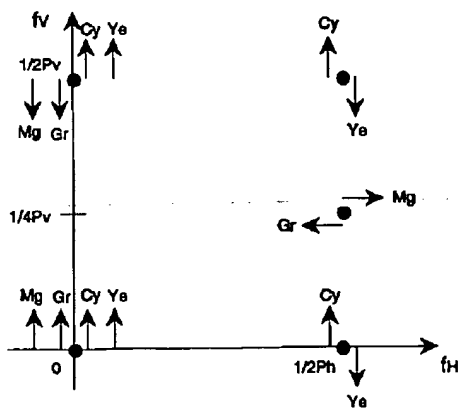
【図8】



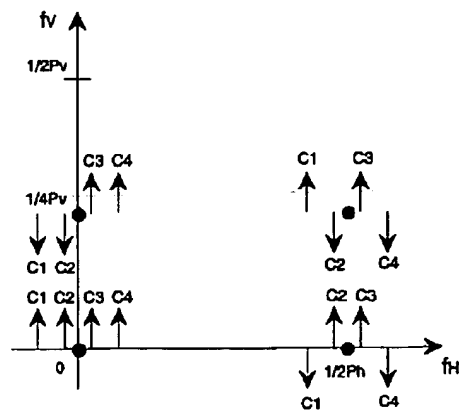
【図14】



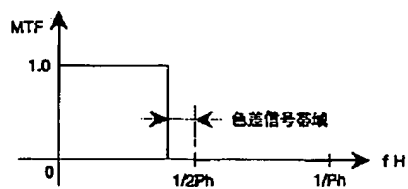
【図10】



【図12】



【図13】



(14)

特開平6-253318

【図15】

